

51

Int. Cl. 2:

G 01 N 33/16

19 BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT



DE 27 23 939 A 1

11

Offenlegungsschrift 27 23 939

21

Aktenzeichen:

P 27 23 939.0

22

Anmeldetag:

24. 5. 77

23

Offenlegungstag:

7. 12. 78

24

Unionspriorität:

22 23 21

25

Bezeichnung:

Vorrichtung zur Atemgasanalyse

27

Anmelder:

Albrecht, Hans-Jörg, Dr.rer.nat.; Müller, Gerhard, Dr.-Ing.;
Schaldach, Max, Prof. Dr.-Ing.; 8520 Erlangen

27

Erfinder:

gleich Anmelder

DE 27 23 939 A 1

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Vorrichtung zur Atemgasanalyse, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t , daß zum Simultannachweis mehrerer
Gasanteile eine Multipass-Anordnung vorgesehen ist, bei
der ein Laserstrahl (14) so in einer Anordnung von zwei
einander zugewandten coaxialen Hohlspiegeln (4, 5) ein-
fällt, daß er zwischen den Hohlspiegeln (4, 5) mehrfach
reflektiert wird, wobei für die Feststellung jedes Gasan-
teils ein getrennter Detektor (D_1 bis D_6) vorgesehen ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t , daß die Hohlspiegel (4, 5) sphärisch
oder elliptisch geformt sind.
3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß für den Ein-
fall des Laserlichts durch einen der Hohlspiegel (4, 5)
hindurch, dieser in dem betreffenden Bereich (15) durch-
bohrt oder nicht verspiegelt ist.
4. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß der Abstand
der Hohlspiegel (4, 5) veränderlich ist.
5. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß zur Unter-
drückung von Störstrahlung zwischen den Hohlspiegeln (4, 5)
Blenden (16) vorgesehen sind, deren Durchlaßöffnungen dem
gewünschten Strahlenverlauf angepaßt sind.

809849/0173

- 2 -

ORIGINAL INSPECTED

6. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Detektoren (D_1 bis D_6) im wesentlichen so angeordnet sind, daß sie die Streustrahlung in einem Bereich zwischen den Hohlspiegeln (4, 5) erfassen, in dem der Querschnitt des Laserstrahlenbündels ein Minimum aufweist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß sich das Minimum des Querschnitts des Laserstrahlenbündels im wesentlichen in der Mitte zwischen den beiden Hohlspiegeln (4, 5) befindet.
8. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Detektoren optische Interferenzfilter (7) enthalten.
9. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bis zu sechs Detektoren in einer senkrecht zur Achse der Spiegel ausgerichteten Ebene angeordnet sind.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die zwischen den Hohlspiegeln (4, 5) reflektierte Laserstrahlung unpolarisiert ist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß eine Küvette (3) ohne Brewster-Fenster vorgesehen ist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet,

809849/0173

z e i c h n e t , daß im Strahlengang des Laserlichts mind stens ein Depolarisator vorgesehen ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß zur Depolarisation des Laserlichts die Hohlspiegel (4, 5) mit einer optisch aktiven Substanz beschichtet sind.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13, d a - d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß jeder Detektor (D_1 bis D_6) mit einer Sammeloptik (12) versehen ist, deren Lichtstärke jeweils gleich der Brennweite (f):1 ist.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 14, d a - d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Detektoren mit gaspezifischen Filtern (17) zum Nachweis jeweils eines Streulichtanteils der Gase O_2 , N_2 , CO_2 , N_2O , CO und/oder eines Narkosegases versehen sind.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, d a - d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß für den Nachweis von vorzugsweise mehr als sechs Gasanteilen das Streulicht von einer Sammeloptik (22) nacheinander zu verschiedenen Filtern (23, 25, 27) gelangt, die jeweils einem Detektor zugeordnet sind, wobei das Licht jeweils in schiefer Incidenz auf ein Filter auftrifft und die gaspezifische Lichtkomponente zu dem jenseits des Filters angeordneten Detektor und das Restlicht zum nachfolgenden Filter gelangt, das im Bereich des austretenden Lichtstrahls angeordnet ist.
17. Vorrichtung nach Anspruch 16, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Streulicht von einer Sammeloptik (22) nacheinander zu verschiedenen Filtern (23, 25, 27) gelangt, die jeweils einem Detektor zugeordnet sind, wobei das Licht jeweils in schiefer Incidenz auf ein Filter auftrifft und die gaspezifische Lichtkomponente zu dem jenseits des Filters angeordneten Detektor und das Restlicht zum nachfolgenden Filter gelangt, das im Bereich des austretenden Lichtstrahls angeordnet ist.

809849/0173

z e i c h n e t , daß zwischen aufeinander folgenden Filtern jeweils ein zusätzlicher Hohlspiegel (24, 26) zur Bündelung des auf das nachfolgende Filter (25, 27) auftretenden Lichts angeordnet ist.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 oder 17, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das aus dem letzten Filter (27) austretende Restlichtstrahlenbündel durch einen Hohlspiegel (28) in sich selbst so zurückgeworfen wird, daß es nacheinander auf die Filter (23, 25, 27) in umgekehrter Reihenfolge erneut auftrifft.
19. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Spiegel mit dielektrischen Vielfachschichten beschichtet sind.
20. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß bei der zeitabhängigen Auswertung der gemessenen Konzentrationen der Gasanteile, die N_2 -Konzentration als Bezugswert verwendet wird.
21. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß zur Vermeidung der gegenseitigen Beeinflussung benachbarter Raman-Schwingungslinien verschiedener Gase bei mehratomigen Gasen die für die Analyse herangezogenen Schwingungslinien so ausgewählt werden, daß diese Beeinflussung ein Minimum ist.
22. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a -

d u r c h g e k e n n z i c h n e t , daß die Küvette
(3) und/oder der n Gaszuleitungen mit Heizmitteln versehen
sind.

23. Vorrichtung nach Anspruch 22, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t , daß die Heizmittel aus Folienheizelemen-
ten, Heizpatronen und/oder Heizwicklungen bestehen.

-.-.-.-.-

Beschreibung

809849/0173

20. Mai 1977

Vorrichtung zur Atemgasanalyse

Dr. rer.nat. Hans-Jörg Albrecht
Anderlohrstraße 27
8520 Erlangen

Priv.-Doz. Dr.-Ing. Gerhard Müller
Anderlohrstraße 21
8520 Erlangen

Prof. Dr.-Ing. Max Schaldach
Turnstraße 5
8520 Erlangen

809849/0173

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Atemgasanalyse. In der medizinischen Diagnostik besteht das Bedürfnis, insbesondere bei der Überwachung von Patienten in der Intensivpflege oder während einer Operation durch möglichst umfangreiche Informationen Aufschluß über den aktuellen Zustand des Patienten zu gewinnen. Die dazu erforderlichen Meßgrößen sollen möglichst einfach zugänglich und der notwendige Analyseaufwand gering sein. Die Atemgaszusammensetzung und dabei insbesondere die Sauerstoffaufnahme und die Kohlendioxidabgabe stellen Bilanzgrößen des gesamten Gas- und Energiestoffwechsels dar und eignen sich deshalb besonders sowohl zur Beurteilung eines allgemeinen Krankheitsbildes als auch zur Überwachung des augenblicklichen Zustands eines Patienten. Die Bestimmung der einzelnen Anteile des Atemgases kann der Ermittlung kardiovaskulärer und pulmonaler Parameter sowie zur gezielten Messung der Anteile von Narkosegasen im Atemgasgemisch des Patienten benutzt werden.

Wollte man bisher Aufschluß über die Atemgaszusammensetzung eines Patienten gewinnen, so war es erforderlich, die einzelnen Anteile getrennt nachzuweisen. Der Aufwand an verschiedenen Analysegeräten, die für die Ermittlung eines jeden Anteils getrennt erforderlich waren und für sich bedient und überwacht werden mußten, stand bisher der Einführung von Vorrichtungen zur simultanen Atemgasanalyse auf breiter Basis im klinischen Bereich entgegen.

Zwar gestattet die auch vereinzelt in Kliniken eingesetzte Massenspektroskopie die simultane Durchführung einer Atemgasanalyse mit einem Meßsystem, der apparative Aufwand eines massenspektrometrischen Gasanalysegerätes steht jedoch ebenfalls einer breiten Anwendung entgegen. Ein Überblick über bisher übliche Verfahren wird in einem Aufsatz von U. Smidt, G. v. Nieding und H. Löttgen in der Zeitschrift Biomedizinische Technik 21, 1976, S. 102 ff gegeben.

809849/0173

- 2 -

Die Raman-Spektroskopie ermöglicht als schwingungsspektroskopisches Analyseverfahren unter Ausnutzung der Molekülschwingungen als spezifische Eigenschaft, die Zusammensetzung von Mischungen, die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Substanzen und die Molekülstruktur zu ermitteln und kommt daher grundsätzlich auch für eine Anwendung im klinischen Bereich in Betracht. Raman-spektroskopische Untersuchungsmethoden wurden bisher vorwiegend zur Untersuchung von Molekülstrukturen, Flüssigkeiten und Festkörpern benutzt. Wegen der sehr geringen Wirkungsquerschnitte war die Anwendung auf die Gasphase nur in begrenztem Umfang möglich. Erst durch die Verwendung von Lichtquellen hoher Intensität zur Streuanregung, hochempfindlichen Photoempfängern zur direkten photoelektrischen Registrierung des Streulichts und einer Vielzahl von meist rechnergestützten Signalverarbeitungstechniken wurde eine breitere Anwendung auch zur Untersuchung von Gasen möglich. Ausführlich wird darüber berichtet in: Lapp, M.; Penney, C.M. "Laser Raman Gas Diagnostics", Plenum Press, New York/London, 1974. Raman-spektroskopische Gasanalysen sind danach zur Fernmessung von Schadstoffkonzentrationen in der Luft, zur Bestimmung von Temperaturprofilen, sowie des Wasserdampfgehaltes der Atmosphäre bekanntgeworden. Hinzu kommt eine Anwendung zur Prozeßüberwachung anhand der Konzentrationen gasförmiger Produkte bei chemischen Reaktionen.

Insbesondere hinsichtlich der erzielbaren Nachweisempfindlichkeiten und einer zu fordernden einfachen Anwendbarkeit im klinischen Bereich weisen die bisher bekannten Vorrichtungen jedoch erhebliche Nachteile auf.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Atemgasanalysevorrichtung zu schaffen, die die Möglichkeit aufweist, verschiedene Gasanteile simultan nachzuweisen, und dabei so empfindlich ist, daß reproduzierbare Messungen auch unter klinischen Bedingungen erzielbar sind. Darüber hinaus

809849/0173

- 3 -

soll die Vorrichtung einfach bedienbar und kostengünstig herstellbar sein, so daß auch unter diesem Gesichtspunkt eine breite Anwendungsmöglichkeit gewährleistet ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die im Kennzeichen des Hauptpatentanspruchs angegebenen Mitteln gelöst. Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß bei einer Vorrichtung zur Atemgasanalyse, die im klinischen Bereich oder unter vergleichbaren Bedingungen eingesetzt werden soll, die Möglichkeit einer kontinuierlichen Überwachung gegeben sein muß, wobei die Auswertung der Messungen direkt durch Rechner übernommen wird, welche die Meßergebnisse in geeigneter Form zusammenfassen und/oder beim Überschreiten vorgegebener Schwellen bestimmte Aktionen oder Alarmsignale auslösen. Um eine derartige Meßeinrichtung möglichst unkompliziert einsetzen zu können, ist eine kompakte Bauform nötig, d.h. die notwendigen Analyseeinrichtungen

werden, wie es bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung der Fall ist. Einen hervorzuhebenden Vorteil bietet die mehrfache Ausnutzung des einfallenden Laserstrahls bei der verwendeten Multipass-Anordnung, mit der die erzielbare Nachweismempfindlichkeit vervielfacht wird. Durch die erfindungsgemäße Anordnung von einander gegenüberliegend vorgesehenen Hohlspiegeln, zwischen denen die einfallenden Laserstrahlung mehrfach in einander im wesentlichen entgegengesetzte Richtungen reflektiert wird, ist es möglich, die Meßdetektoren in einer zwischen den Hohlspiegeln gelegenen senkrecht zur Strahlenrichtung ausgerichteten äquatorialen Ebene anzuordnen, in der eine für die Messung geeignete gleichmäßige Streulichtverteilung erzielt wird.

Besonders vorteilhaft ist bei der Erfindung, daß sich eine Erhöhung der Analysenleistung durch eine Verkürzung der Analysenzeit infolge der Automatisierungsmöglichkeit der Messung sowie der Mechanisierung der Probenaufarbeitung er-

gibt. Durch die gleichzeitige Bestimmbarkeit mehrerer Parameter und der automatischen Steuerung der dafür benötigten Testkombinationen läßt sich eine weitere Beschleunigung erreichen. Die Zahl der erfassbaren Substanzen läßt sich durch eine geeignete Anordnung der Spiegel so weit vergrößern, daß sie nahezu allen Anforderungen gerecht wird. Durch die Verwendung einer Driftkompensation ist die störungsfreie Einsatzzeit größer als die vergleichbarer Meßeinrichtungen, obgleich der technische Aufwand verringert ist.

Ein wesentlicher Vorteil besteht in der Möglichkeit der Zusammenfassung wesentlicher für einen klinischen Befund notwendiger Analyseverfahren. Im Gegensatz zu der bisher nebeneinander verwendeten Vielzahl verschiedener klinisch-chemischer Testverfahren unterschiedlicher Spezifität und Genauigkeit, ist es durch die erfindungsgemäße Vorrichtung möglich, diese Analysen zu einem einzigen Meßvorgang zusammenzufassen, der eine hohe analytische Genauigkeit gewährleistet. Dadurch, daß eine Anzahl von in einem homogenen Verfahren gewonnener Meßdaten direkt einer Computerauswertung zugänglich ist, wird dem behandelnden Arzt eine wesentliche Hilfe für die Erstellung einer schnellen Diagnose gegeben. Da die kontinuierliche Messung mit einer großen zeitlichen Auflösung erfolgt, sind Meßwertschwankungen sofort erkennbar, so daß eine - insbesondere in der Intensivpflege erforderliche - schnelle Therapieentscheidung möglich ist. Der kontinuierlichen Messung der Atemgase, des Hämoglobins und der Glucose kommt bei einer Diagnose besondere Bedeutung zu.

Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet. Vorteilhafte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden nachfolgend näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 den prinzipiellen Aufbau eines Aus-

809849/0173

- 5 -

- führungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Raman-spektroskopischen Atemgasanalysevorrichtung in schematischer Darstellung, die Geometrie des Strahlenverlaufs bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1,
- Fig. 2a den Aufbau eines gasspezifischen Detektors bei der Vorrichtung gemäß Fig. 2,
- Fig. 2b eine Zusammenstellung der Streulichtkomponenten für die 90°-Streugeometrie und verschiedene Polarisationsrichtungen des Laserlichts,
- Fig. 2c eine Darstellung des Verlaufs der Raman-Intensität in Abhängigkeit von der Polarisationsrichtung des Laserlichts ohne (Kurve A) und mit Scrambler (Kurve B),
- Fig. 3a und b den Aufbau einer streulichtarmen Durchflußküvette für Atemgasuntersuchungen für das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 und

einer Variante einer Atemgasanalysevorrichtung gemäß der Erfindung.

In Fig. 1 ist der prinzipielle Aufbau der erfindungsgemäßen Raman-spektroskopischen Atemgasanalysevorrichtung schematisch dargestellt. Als Anregungslichtquelle 1 dient ein Argon-Laser, der zur Streuanregung die blaue Ar^+ -Laserlinie mit einer Wellenlänge von $\lambda_0 = 488 \text{ nm}$ abgibt. Die zu analysierende Atemluft 2 wird in Pfeilrichtung in eine Durchflußküvette 3 eingeleitet. Die Durchflußküvette weist die erfindungsgemäße aus zwei Hohlspiegeln 4 und 5 bestehende Multipass-Anordnung auf, die weiter unten näher beschrieben werden wird. Die Durchflußküvette wird durch eine Heizspirale 6 auf 40 bis 50° C aufgeheizt und ist eine streulichtarme Ausführung ohne Brewster-Fenster.

- 6 -
12

Das aus der Küvette austretende Streulicht wird durch eine Kombination von zwei Interferenzfiltern 7, die aus einem breitbandigen und einem gasspezifischen Filter besteht, spektral zerlegt und gelangen zu einem Photomultiplier 8, der eine gasspezifische Impulsrate pro Zeiteinheit erzeugt. Diese Impulse werden einer Auswertungseinheit 9 zugeführt, die einen Zähler enthält, der die innerhalb der Torzeiten auftretenden Impulse festhält. Das Ausgangssignal des Zählers gelangt über einen Digital-Analog-Wandler - als analoges Ausgangssignal zum Ausgang der Auswertungseinheit 9, an den eine Schreibvorrichtung 10 angeschlossen ist, welche die gasspezifische Impulsrate - und damit den Verlauf von Atemgaskonzentrationen - in Abhängigkeit von der Zeit registriert. Für die Simultanregistrierung mehrerer Atemgasanteile ist der Photomultiplier 8 mehrfach vorzusehen, während die Auswertungseinheit 9 und die Schreibvorrichtung 10 entsprechend mehrkanalig ausgeführt werden.

In Fig. 2 ist die Geometrie des Strahlenverlaufs bei der erfindungsgemäßen Multipass-Anordnung getrennt dargestellt. Sechs gasspezifische Detektoren D_1 bis D_6 sind in einer Detektorebene 11 angeordnet. Der Aufbau eines der gasspezifischen Detektoren ist in Fig. 2a vergrößert wiedergegeben. Dieser entspricht im wesentlichen dem in Fig. 1 dargestellten. Es ist wiederum die Kombination zweier Interferenzfilter 7 vorgesehen, die zwischen einer Sammeloptik 12 und einer Abbildungslinse 13 angeordnet ist, welche die Aufgabe erfüllen, die Streustrahlung zu bündeln. Als Meßwandler zur Umwandlung der empfangenen Strahlung in elektrische Impulse dient wiederum ein Photomultiplier 8. Ein unpolarisierter Laserstrahl 14 gelangt durch einen durchbrochenen oder nicht verspiegelten Bereich 15 durch den Hohlspiegel 5 hindurch, durchquert die Meßküvette und wird von dem anderen Hohlspiegel 4 reflektiert. Der nicht polarisierte Laserstrahl läßt sich dadurch erzeugen, daß

809849/0173

- 7 -

entweder ein Laser verwendet wird, der nicht mit Brewster-Fenstern abgeschlossen ist, oder aber ein zusätzlicher Depolarisator hinzugefügt wird. Eine weitere Möglichkeit, den Laserstrahl zu depolarisieren, besteht darin, die Spiegel der Multipass-Einrichtung mit einer optisch-aktiven Substanz zu beschichten. Durch die dargestellte Multipass-Einrichtung entsteht durch die häufigen Reflexionen in der Äquatorialebene, die der Detektorebene entspricht, ein Gemisch vieler Polarisationsrichtungen, deren Streulichtanteile von den Detektoren D_1 bis D_6 erfaßt werden.

Die Hohlspiegel 4 und 5 können sphärisch oder elliptisch geschliffen sein, wobei zur Verringerung der Reflexionsverluste bei einer bevorzugten Ausführungsform eine Verspiegelung mittels dielektrischer Vielfachschichten vorgesehen ist. Zur Veränderung der Anzahl der Reflexionen ist der gegenseitige Abstand der Hohlspiegel 4 und 5 verän-

sich eine Steigerung der Intensität mit sphärischen Spiegeln im Bereich von 10 bis 20 und mit elliptischen Spiegeln in der Praxis bis ungefähr 100 erreichen. Diese Werte lassen sich dadurch erzielen, daß die optische Dichte der Gase gering ist, so daß der Anteil des jeweils ungestreut aus der Gasprobe austretenden Laserlichts relativ groß ist. Ein Spektralapparat mit der in Fig. 2 dargestellten Nachweisgeometrie für eine simultane Registrierung mehrerer Gasanteile weist einen besonders einfachen konstruktiven Aufbau auf. Auf der normalen Fläche zur Ausbreitungsrichtung der Laserstrahlung in der Gasküvette bzw. der "Äquatorialebene" der Streuanordnung sind sechs Detektoren vorgesehen. Das Streulicht setzt sich aus einer isotropen und einer anisotropen Komponente zusammen. Die sich allgemein ergebende Intensitätsverteilung läßt sich mit

A

Hilfe des Depolarisationsgrades bzw. d r Spur - $\bar{\alpha}'^2$ und der Anisotropie - γ'^2 des Raman-Tensors und des Winkels in der Beobachtungsebene beschreiben. Eine übliche Streu- und Nachweisgeometrie für polarisiertes Laserlicht ist in Fig. 2b dargestellt. Dabei gilt für Polarisationsrichtungen L_y oder L_z : Registrierung von zwei Streulichtkomponenten I_x und I_y bzw. I_y und I_z mit Hilfe der entsprechenden Analysatorstellungen A_i . Bei Gasen und verdünnten Lösungen wird das Streuverhalten durch $\bar{\alpha}'^2$ und γ'^2 beschrieben: 90°-Streuordnung (z-Richtung)

$$L_y: \quad I_x \sim 3\gamma'^2; \quad I_y \sim 45(\bar{\alpha}'^2) + 4\gamma'^2$$

$$L_z: \quad I_x \sim 3\gamma'^2; \quad I_y \sim 3\gamma'^2.$$

Bei einer Polarisation der Laserstrahlung in Richtung L_y und einer Beobachtungsrichtung unter einem Winkel \emptyset zur y-Achse gilt:

$$I_x + I_y = I(\emptyset) - 6\gamma'^2 + \sin^2\emptyset (45\bar{\alpha}'^2 + \gamma'^2).$$

Da der Winkel \emptyset den Winkel zwischen der Polarisationsrichtung und der Beobachtungsrichtung darstellt, läßt sich diese Winkelabhängigkeit der Streuintensität durch Ändern sowohl der Beobachtungsrichtung als auch der Polarisationsrichtung der Anregungsstrahlung ermitteln. Kurve A in Fig. 2c zeigt den Verlauf der Raman-Intensität I als Funktion des Winkels $\emptyset = \emptyset + 90^\circ$ bei einer Beobachtung in z-Richtung, die großen Schwankungen unterworfen ist. Dabei wird durch den endlichen Raumwinkel der Sammeloptik die Intensitätsverteilung über diesen Raumwinkel gemittelt. Der Nachteil der unterschiedlichen Intensitätsverteilung bei der 360°-Nachweisgeometrie wird durch die Verwendung von unpolarisierter Anregungsstrahlung vermieden, die sich entweder durch den Einsatz eines Lasers mit unpolarisierter

- 9 -
15

Strahlung oder, wie zum Beispiel bei der Verwendung eines Ar^+ -Lasers, durch einen zusätzlichen Scrambler erzielen läßt. Als Scrambler ist ein Keildepolarisator geeignet. Durch den Scrambler bzw. die Verwendung unpolarisierten Laserlichtes werden die Intensitätsunterschiede in Abhängigkeit von der Polarisationsrichtung sehr stark eingeebnet. Kurve B in Fig. 2c veranschaulicht die Wirkung des Scramblers auf die Streulichtintensität. Dabei wurde der Scrambler so justiert, daß für eine Polarisation in Richtung L_y und eine Beobachtung in z-Richtung ($\theta = 90^\circ$) die Intensität auf die Hälfte zurückgeht. Die Orientierung des Scramblers blieb unverändert, während die Polarisationsrichtung um den Winkel $\theta = 0$ bis 720° gedreht wurde. Im allgemeinen Fall, d.h. ohne den zusätzlichen Einfluß der Raman-Streuung auf die Winkelverteilung, erfordert eine optimale Depolarisation einen konstanten Winkel zwischen der Depolarisatororientierung und der Polarisationsrichtung. Zum Vergleich mit der Kurve B wurde deshalb die Intensitätsverteilung bei einer kombinierten Drehung von Scrambler und Polarisationsrichtung aufgenommen, der Differenzwinkel beträgt konstant 45° . Die Drehung des Scramblers führt zu einer Rotation der beiden Austrittsbündel um eine gemeinsame Achse in der Multipass-Anordnung. Durch den rechteckigen Querschnitt der Blenden in der Durchflußküvette, die weiter unten noch näher erläutert werden, werden in bestimmten Winkelbereichen einige der Reflexionen ausgeblendet. Dies erklärt die Intensitätsabnahme der Kurve in Fig. 2c im Bereich $\theta = 100$ bis 200° . Durch eine Berücksichtigung der Strahldivergenz bei der Justierung der Multipass-Anordnung und durch eine geeignete Form der Streulichblenden läßt sich mit einem derartigen Scrambler eine hinreichende Depolarisation des Laserlichts erreichen. Damit ist eine wesentliche Voraussetzung für die Verwendung der hier dargestellten Nachweisgeometrie mit 360° -Anordnung der Detektoren gegeben. Der Vorteil dieser Nachweisgeometrie

809849/0173

- 10 -

liegt im technisch besonders einfachen Aufbau. Bei der Verwendung von sechs Nachweiskanälen entspricht der pro Kanal nutzbare Raumwinkel etwa dem einer $f:1$ -Optik, so daß die Verwendung einer derartigen Optik bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung eine optimale Ausnutzung der Strahlung sicherstellt. Die Intensitätsverluste durch die Interferenzfilter sind mit denjenigen anderer Spektralapparate vergleichbar.

Bei der in Fig. 2 dargestellten Multipass-Geometrie sind die beiden Spiegel konzentrisch angeordnet. Dabei liegen die Reflexionspunkte äquidistant auf der von der Eintrittsöffnung aus verfügbaren restlichen Spiegelfläche. Für einen vorgegebenen Durchmesser der Spiegel und einen gegebenen Bereich der durch die Sammeloptik nutzbaren Detektorfläche ergibt sich ein optimaler Abstand der beiden Spiegel, bei dem eine Häufung der Strahlen in dem genannten Bereich der Detektorfläche auftritt.

In den Fig. 3a und b ist der Aufbau einer streulicharmen Durchflußküvette für Atemgasuntersuchungen dargestellt. In Fig. 3a tritt der Laserstrahl 14 ebenfalls in die durch die Hohlspiegel 4 und 5 gebildete Multipass-Anordnung ein, um zwischen den Spiegeln vielfach reflektiert zu werden. Einstellbare Blenden 16, die in ihrer Anordnung dem Strahlengang angepaßt sind, unterdrücken die Rayleigh-Komponente des Streulichts und eine auftretende Fluoreszenzstrahlung um einen Faktor 10 gegenüber vergleichbaren Küvetten mit Brewster-Fenstern. In Fig. 3b ist die selbe Anordnung um 90° gedreht dargestellt. Es ist ersichtlich, daß der Strahlenverlauf bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel vorwiegend in einer Ebene konzentriert, wobei die Blenden 16 in ihrer Anordnung diesem räumlichen Verlauf angepaßt sind. Die Blenden 16 weisen in der dargestellten Anordnung jeweils einen rechteckigen Querschnitt auf. Die Sammeloptik 2 eines Detektors ist hier so angeordnet, daß sie einen mög-

809849/0173

lichst großen Streulichtbereich durch die Fenster 22 hindurch erfaßt. Diese Erfassung einer größeren Streufläche reduziert den Einfluß mechanischer Schwankungen und Instabilitäten auf die registrierte Intensität. Für die Simultananalyse zweier Gasanteile ist es z.B. möglich, eine zweite Sammeloptik auf der gegenüberliegenden Seite anzuordnen, in dem Bereich, in dem in Fig. 3b aus Gründen der Übersicht eine Gaszuleitung 17 dargestellt ist, die dem Zuführen von Atemgas dient. Die Durchflußküvette 3 einschließlich der Gaszuleitung 17 werden mit Folienheizelementen 18 bis 21 auf einer Temperatur gehalten, die höher ist als die Körpertemperatur. Damit wird eine Kondensation des Wasserdampfes der expiratorischen Atemluft an den kühleren Küvettenwänden verhindert und sichergestellt, daß keine undefinierte Verringerung des registrierten CO_2 -Gehaltes auftreten kann. Die Küvette ist als offene Küvette ohne Brewster-Fenster ausgebildet, um eine vollständige

der Meßanordnung beträgt ca. 30 cm³. Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die Heizelemente für die Meßküvette und die Gaszuleitung gleichzeitig für die Sterilisation der Meßanordnung bei der klinischen Anwendung benutzbar, wodurch eine weitere Vereinfachung erzielt werden konnte.

Die im Vorangehenden dargestellte Gasanalysevorrichtung mit in einer Ebene angeordneten Detektoren weist in einer für die klinische Anwendung besonders günstigen Konfiguration Filter und Detektoren für den simultanen Nachweis von O_2 , N_2 , CO_2 , N_2O , CO sowie ein Narkosemittel, wie z.B. Halothan oder Ethrane auf. Mit dieser Auswahl wird einerseits der vorhandene Streulichtbereich durch das Vorhandensein von sechs Detektoren optimal ausgenutzt und zum anderen die Möglichkeit für den Nachweis von sechs für die Beurteilung des Gas- und Energiestoffwechsels besonders wichtigen Gas-

anteilen gegeben.

In Fig. 4 ist eine Filteranordnung für eine Variante der erfindungsgemäßen Atemgasanalysevorrichtung dargestellt. Während bei dem im Vorhergehenden dargestellten Ausführungsbeispiel jeder erfaßte Streulichtanteil nach dem Durchlaufen der Sammeloptik nur einem einzigen Detektor zugeführt wird, erfolgt hier eine Aufspaltung des erfaßten Streulichts in mehrere gasspezifische Anteile, die verschiedenen Detektoren zugeführt werden. Diese Anordnung ist vorteilhaft, wenn die Zahl der zu ermittelnden Gasanteile größer ist als die Zahl der Detektoren, die um die Küvette herum im Streulichtbereich räumlich angeordnet werden kann. Auch in dem Fall, daß polarisierte Laserstrahlung verwendet werden soll, die, wie dargestellt, zu einer winkelabhängigen Streuintensität führt, oder einer Streuanordnung, die nur in einem bestimmten Raumwinkel für die Erfassung von Streulicht zugänglich ist, bildet die dargestellte Anordnung mit parallelen, gasspezifischen Registrierkanälen, die allein mögliche Lösung.

Bei der in Fig. 4 dargestellten Anordnung fällt das Streulicht durch eine Sammellinse 22 auf ein erstes Filter 23, das als Interferenzfilter ausgebildet ist. Die gasspezifische Raman-Strahlung (hier für O_2) wird ausgefiltert, während das Restlicht zurückgeworfen wird und auf einen Hohlspiegel 24 gelangt, von dem es zu einem entsprechenden Filter 25 gelangt, durch das der für CO_2 spezifische Lichtanteil ausgefiltert wird. Über einen weiteren Hohlspiegel 26 gelangt das Licht zu einem Filter 27, das auf den für N_2 charakteristischen Anteil ausgewählt ist. Die gasspezifischen Streulichtkomponenten gelangen zu getrennten Detektoren, wobei die Auswertung analog zu dem im Vorangehenden dargestellten Ausführungsbeispiel erfolgt. In Fig. 4 ist in der schematischen Darstellung lediglich die Möglichkeit der Abtrennung dreier gasspezifischer Komponenten darge-

stellt. Es ist ersichtlich, daß sich an das Filter 27 noch weitere Filter/Hohlspiegel-Paare anschließen können, so daß der Nachweis einer Vielzahl von Anteilen der zu analysierenden Gasmischung möglich ist.

Im Gegensatz zur Möglichkeit der Durchstimmung des Transmissionsbereichs der Interferenzfilter durch eine Änderung des Einfallswinkels oder der Filtertemperatur führen die dargestellten Lösungen, die unter Verwendung von Filtern für einen festfrequenten Transmissionsbereich funktionieren, zu einer technisch einfachen und betriebssicheren Lösung.

Bei der dargestellten Anordnung für die parallele spektrale Trennung verschiedener Streulichanteile mittels aufeinander folgender Analyse des vom vorangehenden Filter reflektierten Restlichts ist für die Trennung von einfallendem und austretendem Licht eine schiefe Inzidenz erforderlich. Bei den Interferenzfiltern weicht die spektrale Lage der Durchlaßbereiche gegenüber denjenigen für senkrechte Inzidenz ($\theta = 0^\circ$) ab. Die Wellenlänge des Durchlaßbereichs für abweichende Winkel läßt sich nach der Formel

$$\frac{\lambda_\theta}{\lambda_{0^\circ}} = \sqrt{\frac{\mu^2 - \sin^2 \theta}{\mu^2}}$$

berechnen.

Die durch die räumliche Trennung des eingestrahnten vom reflektierten Licht erforderliche Abweichung vom Inzidenzwinkel $\theta = 0^\circ$ bedingt eine Verringerung der durchgelassenen Intensität. Durch einen bei ca. 40% liegenden Transmissionsgrad enthält das reflektierte Licht noch Frequenzanteile des Durchlaßbereichs, so daß eine nochmalige Auswertung des Restlichts zu einer Erhöhung der zur Auswertung zur Verfügung stehenden Intensität führt. Ein in Fig. 4 dargestellter

Hohlspiegel 28 reflektiert das vom letzten Filter 27 zurückfallende Restlicht, das senkrecht einfällt, in der Weise, daß Einfalls- und Ausfallsrichtung zusammenfallen und das Licht alle Filter noch einmal - in umgekehrter Reihenfolge - passiert. Die durch die zweimalige Analyse des reflektierten Lichts bewirkte Steigerung der durchgelassenen Intensität ist so groß, daß der jeweilige effektive Transmissionsgrad für alle Filter etwa demjenigen eines einzelnen Filters mit senkrechter Inzidenz entspricht.

Durch die Verwendung von Hohlspiegeln 24 und 26 wird jeweils das Streuzentrum auf die einzelnen Filter abgebildet. Durch diese Anordnung wird ebenfalls eine Steigerung der Effektivität, beispielsweise im Vergleich zu der Benutzung von Planspiegeln erreicht.

Die im Vorangehenden beschriebene, erfindungsgemäße Atemgasanalysevorrichtung weist durch ihre besondere geometrische Anordnung eine gesteigerte Nachweisempfindlichkeit in Verbindung mit einer technisch optimierten Bauform auf, die es ermöglichen, ein derartiges Gerät im klinischen Bereich einzusetzen, um dort im Zusammenwirken mit einer automatischen Auswertungseinrichtung, die gewünschten Nachweise mit der erforderlichen Zuverlässigkeit und Genauigkeit zu erhalten. Eine derartige Gasanalysevorrichtung läßt sich aber auch in anderen - vorwiegend technischen - Bereichen verwenden, wo diese Eigenschaften ebenfalls nutzbringend verwertet werden können.

Zur weiteren Leistungssteigerung der Vorrichtung läßt sich eine Driftkompensation vorsehen, welche verhindert, daß sich die ausgegebenen Werte bei gleichen vorhandenen Gaskonzentrationen im Laufe der Zeit verändern. Eine derartige Driftkompensation wird vorteilhafterweise durch eine Normierung der Meßwerte auf die inspiratorische N_2 -Konzentration erreicht. N_2 wird gewählt, da Stickstoff nicht an

809849/0173

- 15 -

den Körperreaktionen beteiligt ist und daher der Stickstoffanteil relativ konstant bleibt. Um zu verhindern, daß sich benachbarte Raman-Streukomponenten gegenseitig beeinflussen, also Querempfindlichkeiten auftreten, werden bei mehratomigen Gasen die zum Nachweis herangezogenen Schwingungslinien zweckmäßigerweise so ausgewählt, daß die gegenseitige Beeinflussung ein Minimum ist.

-.-.-.-.-

809849/0173

2723939

- 93 -

Numm r: 27 23 939
 Int. Cl. 2: G 01 N 33/16
 Anmeld tag: 24. Mai 1977
 Offenl gungstag: 7. Dezemb r 1978

FIG. 1

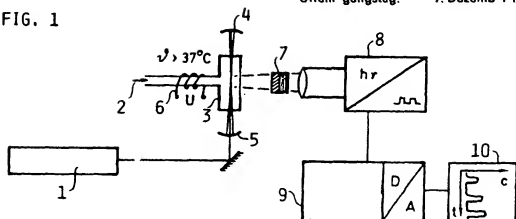


FIG. 2

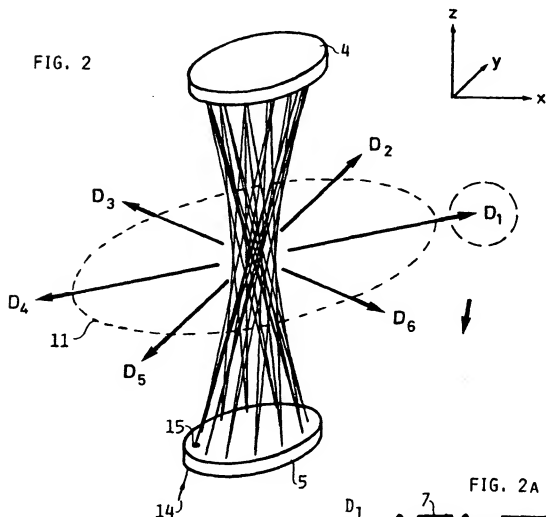
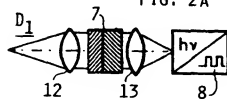


FIG. 2A



809849/0173

FIG. 2B

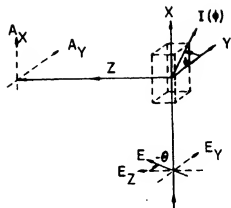


FIG. 2c

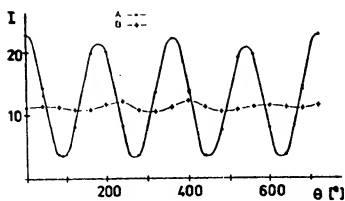


FIG. 3A

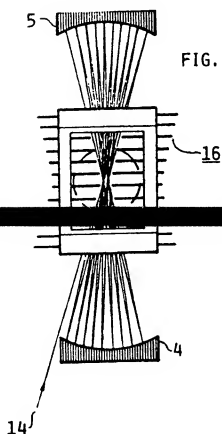


FIG. 3B

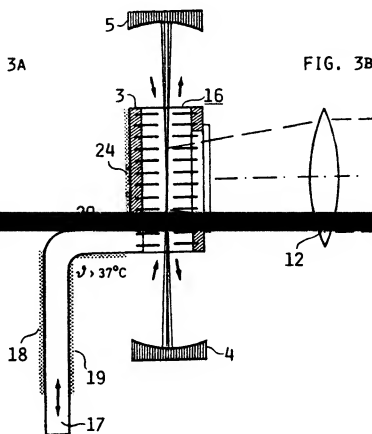
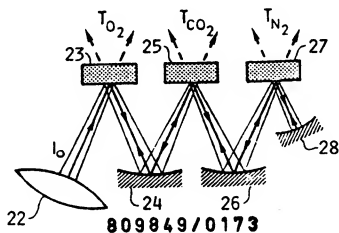


FIG. 4



809849/0173